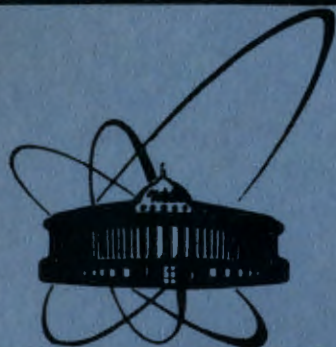


83-667

26/XII-83



ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА

6743/83

P7-83-667

А.Г.Демин, В.А.Друин, Ю.В.Лобанов,  
Р.Н.Сагайдак, В.К.Утенков

ИЗМЕРЕНИЕ ПРОБЕГОВ  
ЯДЕР ОТДАЧИ ТЯЖЕЛЫХ АКТИНИДОВ,  
ОБРАЗУЮЩИХСЯ В РЕАКЦИЯХ  
МНОГОНУКЛОННЫХ ПЕРЕДАЧ,  
ВЫЗЫВАЕМЫХ ИОНАМИ  $^{22}\text{Ne}$

Направлено в журнал "Атомная энергия"

1983

## 1. ВВЕДЕНИЕ

В экспериментах по синтезу и изучению свойств трансформированных элементов в реакциях с тяжелыми ионами серьезной проблемой является выделение синтезируемого нуклида, получаемого обычно в реакции полного слияния налетающего иона и ядра мишени, на фоне многочисленных продуктов реакций многоуклонных передач, выходы которых, как правило, значительно превышают выходы продуктов реакции полного слияния /1-3/. Особенно сложна эта проблема в экспериментах по синтезу спонтанно делящихся нуклидов, идентификация которых вызывает дополнительные трудности.

В экспериментах по синтезу спонтанно делящихся нуклидов с  $Z \geq 104$  с использованием трансурановых мишеней для выделения продуктов реакции полного слияния применялись различия в радиоактивных свойствах и угловых распределениях ядер отдачи, образовавшихся в реакциях полного слияния и многоуклонных передач /4,5/.

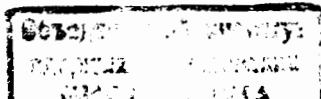
Дополнительную возможность улучшения фоновых условий при выделении продуктов реакции полного слияния можно получить, используя различия в кинетической энергии ядер отдачи. Так, при исследовании реакций квазиупругих передач на ядрах неделяющейся области в широком диапазоне масс и энергий налетающих ионов было обнаружено, что пробеги ядер отдачи в направлении пучка заметно отличаются от пробегов продуктов реакции полного слияния и довольно сложным образом зависят от энергии налетающего иона /6/.

Целью данной работы являлось измерение пробегов и углового распределения ядер отдачи  $^{256}\text{Md}$ , образующегося в реакции  $^{249}\text{Bk} + ^{22}\text{Ne}$ , а также измерение пробегов в направлении пучка для ядер отдачи  $^{252}\text{Fm}$  и  $^{256}\text{Md}$ , получаемых в этой же реакции, и ядер отдачи  $^{246}\text{Cf}$ ,  $^{242}\text{Cm}$  и  $^{240}\text{Cm}$ , образующихся в реакции  $^{239}\text{Pu} + ^{22}\text{Ne}$ , с тем, чтобы оценить возможности отделения продуктов реакции полного слияния от продуктов реакций многоуклонных передач в экспериментах по синтезу трансформированных нуклидов.

/Аннотация данной работы была опубликована ранее /7/ /.

## 2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ МЕТОДИКА

Эксперименты проводились на циклотроне У-300 Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ. Для измерения углового распределения и пробегов атомов  $^{256}\text{Md}$  при различных углах вылета из мишени была использована установка, схематически изображенная на рис.1.



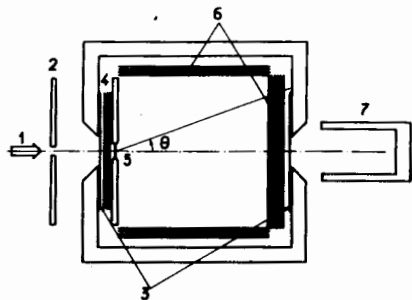


Рис.1. Схема установки для измерения углового распределения и пробегов ядер отдачи  $^{256}\text{Md}$ : 1 - пучок ионов, 2 - коллиматор пучка ионов, 3 - входное и выходное вакуумные окна, 4 - алюминиевые поглотители, 5 - мишень из  $^{249}\text{Bk}$ , 6 - алюминиевые фольги-сборники ядер отдачи, 7 - цилиндр Фарадея.

Мишень из  $^{249}\text{Bk}$  /5/ толщиной  $0,3 \text{ мг/см}^2$  и площадью  $0,1 \text{ см}^2$  облучалась потоком ионов  $^{22}\text{Ne}$  с энергией 118 МэВ. Энергия пучка ионов устанавливалась с помощью алюминиевых поглотителей /4/ и контролировалась по упругому рассеянию ионов на тонкой золотой мишени, расположенной перед входом в реакционную камеру /на рисунке не показана/. Выбор поглотителей проводился на основе таблиц пробегов /8/ с учетом толщины входного окна /3/, подложки мишени и самой мишени.

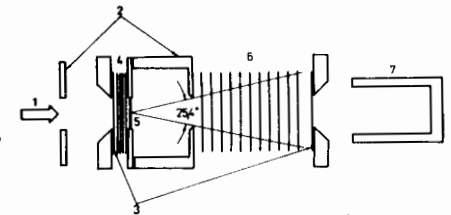
Выбитые из мишени ядра отдачи собирались в алюминиевых сборниках /6/, образующих боковую поверхность и основание цилиндра, закрывающего мишень /5/. Толщина сборников определялась по поглощению энергии  $\alpha$ -частиц спектрометрического источника  $^{238}\text{Pu}$  с помощью таблиц /9/. Точность в определении толщины составляла около 5%. Использовались сборники толщиной от  $0,1$  до  $0,3 \text{ мг/см}^2$ .

В целях предотвращения перегрева мишени, сборников и поглотителей под воздействием интенсивного пучка ионов реакционная камера отделялась от вакуумного объема циклотрона и цилиндра Фарадея /7/ алюминиевыми окнами /3/ и наполнялась гелием до давления 30 Тор.

Определение выхода  $^{256}\text{Md}$  осуществлялось по его дочернему спонтанно делящемуся продукту  $^{256}\text{Fm}$ , прямое образование которого в данной реакции при энергии 118 МэВ незначительно /2/. Поэтому считалось, что вся активность спонтанного деления, зарегистрированная на сборниках, связана с распадом  $^{256}\text{Md}$ . Осколки спонтанного деления ядер, вбитых в сборники, регистрировались с помощью твердотельных трековых детекторов /лавсан с эффективностью регистрации осколков  $\approx 90\%$ /.

Измерение пробегов ядер отдачи в направлении пучка было проведено с помощью аналогичной установки, показанной на рис.2. В этих экспериментах использовались мишени из  $^{249}\text{Bk}$  и  $^{239}\text{Pu}$  толщиной  $0,15$  и  $0,4 \text{ мг/см}^2$  и площадью  $2$  и  $0,5 \text{ см}^2$  соответственно. Стопка алюминиевых фольг указанной выше толщины /6/ располагалась за коллиматором ядер отдачи /2/, на некотором удалении от мишени /5/. Реализуемый при этом максимальный угол разлета продуктов реакций, показанный на рисунке, равнялся  $25,4^\circ$ . Реакционная камера в рабочих условиях наполнялась гелием до давления 15 Тор.

Рис.2. Схема установки для измерения пробегов ядер отдачи продуктов реакций многонуклонных передач, вылетающих в направлении пучка. 1 - пучок ионов, 2 - коллиматоры пучка ионов и ядер отдачи, остальные обозначения - как на рис.1.



Были измерены также пробеги ядер отдачи продуктов реакций многонуклонных передач на мишени из  $^{239}\text{Pu}$  в стопке алюминиевых фольг без коллиматора ядер отдачи /2/ /угол разлета продуктов реакций  $\sim 120^\circ$ /.

Энергия ионов  $^{22}\text{Ne}$  на слое мишени составляла 118 МэВ при облучении  $^{249}\text{Bk}$  и 121 МэВ в аналогичном опыте с  $^{239}\text{Pu}$ , что примерно соответствует расчетным максимумам функций возбуждения реакций полного слияния  $^{249}\text{Bk} (^{22}\text{Ne}, 4n)$  и  $^{239}\text{Pu} (^{22}\text{Ne}, 5n)$  /10/.

Измерение  $\alpha$ -активности продуктов реакций, собранных фольгами-сборниками, проводилось с помощью 8-канального  $\alpha$ -спектрометра с полупроводниковыми поверхностно-барьерными детекторами. Полученное в измерениях разрешение /ширина линии на половине ее высоты/ для распределенного по толщине источника, расположенного вблизи детектора, составляло  $150 \pm 180 \text{ кэВ}$ . Наблюдаемые активности  $^{252}\text{Fm}$ ,  $^{246}\text{Cf}$ ,  $^{242}\text{Cm}$  и  $^{240}\text{Cm}$  были идентифицированы по характерной энергии  $\alpha$ -распада и времени жизни.

Ввиду близости радиоактивных свойств  $^{252}\text{Fm}$  и  $^{255}\text{Fm}$ , а также с целью дополнительной идентификации суточной активности, приписываемой  $^{252}\text{Fm}$ , в отдельном облучении  $^{249}\text{Bk}$  ионами  $^{22}\text{Ne}$  было показано, что соотношение сечений образования  $(\sigma_{252+255}\text{Fm}) /$

$\sigma_{254}\text{Fm} > 10$ . Учитывая содержание в мишени из  $^{249}\text{Bk} /T_{1/2} = 314 \text{ дн.}/$  его дочернего продукта  $^{249}\text{Cf}$  /7% и данные об изотопных распределениях актинидов, образующихся в реакциях ионов  $^{22}\text{Ne}$  с  $^{249}\text{Cf}$  /2/ и  $^{248}\text{Cm}$  /3/, можно было утверждать, что наблюдаемая суточная активность связана в основном с распадом  $^{252}\text{Fm}$ , образующегося на при- меси  $^{249}\text{Cf}$  в берклиевой мишени.

### 3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

На рис.3 представлены полученные распределения пробегов атомов  $^{256}\text{Md}$ , образующихся в реакции  $^{249}\text{Bk} + ^{22}\text{Ne}$  при энергии ионов 118 МэВ, для различных диапазонов углов вылета продуктов в лабораторной системе координат. По оси абсцисс отложены толщины фольг, поправленные на величину среднего для данного диапазона угла вылета атома отдачи, а по оси ординат - измеренные относительные активности спонтанного деления продуктов реакций на

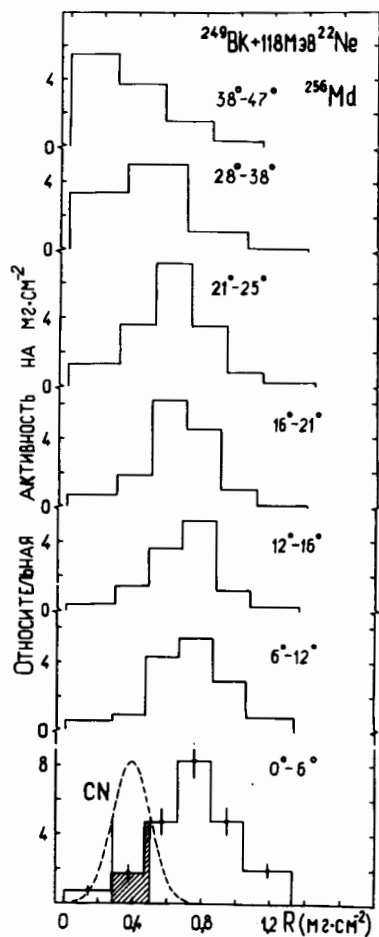
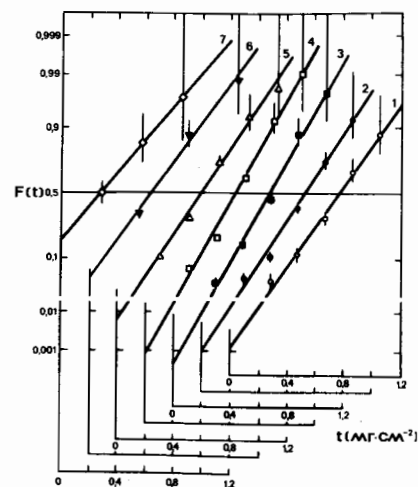


Рис.3. Распределение пробегов ядер отдачи  $^{256}\text{Md}$ .

Рис.4. Гауссовская аппроксимация распределений пробегов ядер отдачи  $^{256}\text{Md}$  в алюминии, показанных на рис.3: 1-7 - соответствующие диапазоны углов вылета ядер отдачи: 1 -  $0^\circ \div 6^\circ$ , 2 -  $6^\circ \div 12^\circ$ , 3 -  $12^\circ \div 16^\circ$ , 4 -  $16^\circ \div 21^\circ$ , 5 -  $21^\circ \div 25^\circ$ , 6 -  $28^\circ \div 38^\circ$ , 7 -  $38^\circ \div 47^\circ$ . По осям абсцисс отложены толщины фольг-сборников, по оси ординат - накопленная доля от суммарной активности сборников /гауссовская шкала/.



фольгах-сборниках на  $\text{мг}/\text{см}^2$ . На этом же рисунке для интервала углов  $0^\circ \div 6^\circ$  показано расчетное распределение пробегов для продукта реакции полного слияния  $^{249}\text{Bk} (^{22}\text{Ne}, 4n) ^{267}\text{107}$ . Вычисление средней величины пробега атома  $^{267}\text{107}$  проводилось путем экстраполяции табличных данных /11/, которые неплохо согласуются с измеренными пробегами тяжелых атомов отдачи /6,12/. При этом энергия ядра отдачи вычислялась как

$$E_R = E_P \cdot M_P M_R / M_{CN}^2,$$

где индексы R, P и CN относятся к ядру отдачи, налетающей частице и компаунд-ядру соответственно; E - энергия; M - масса. Учитывалось влияние эмиссии нейтронов на величину пробега ядра отдачи /13/.

Таблица 1

Интервал углов вылета ядер отдачи (град.)	Пробег ( $\text{мг}/\text{см}^2$ )	Дисперсия ( $\text{мг}/\text{см}^2$ )	Энергия ядра отдачи (МэВ)
0 - 6	$0,84 \pm 0,08$	0,28	$17,4 \pm 1,7$
6 - 12	$0,80 \pm 0,08$	0,26	$16,4 \pm 1,6$
12 - 16	$0,75 \pm 0,07$	0,23	$15,3 \pm 1,5$
16 - 21	$0,70 \pm 0,06$	0,22	$14,2 \pm 1,3$
21 - 25	$0,67 \pm 0,06$	0,27	$13,5 \pm 1,2$
28 - 38	$0,51 \pm 0,05$	0,29	$10,1 \pm 1,0$
38 - 47	$0,34 \pm 0,06$	0,35	$6,6 \pm 1,2$

В расчетах параметра стрегглинга /дисперсии распределения пробегов/, представляющего собой сумму нескольких величин, учитывались вклады, обусловленные процессами торможения тяжелого атома в веществе, испарения нейтронов из компаунд-ядра и конечной толщиной мишени /13/.

Для определения средней величины пробегов атомов  $^{256}\text{Md}$  и их дисперсии использовалась гауссовская аппроксимация полученных распределений с фитированием методом наименьших квадратов, как это показано на рис.4. Полученные таким образом значения средней величины пробегов и их дисперсии для различного диапазона углов вылета ядер отдачи приведены в табл.1. Средняя величина пробега  $^{256}\text{Md}$  в алюминии поправлена на толщину эффективно работающего слоя мишени и слоя гелия, заполнявшего реакционную камеру во время опыта. Коррекция пробегов была выполнена с помощью таблиц пробег-энергия /11/ и не превышала 15% от экспериментально измеренной величины. В таблице приведены также средние значения энергии ядер отдачи, полученные с помощью табличных данных /11/.

На рис.5 показано угловое распределение ядер отдачи  $^{256}\text{Md}$  в лабораторной системе координат, полученное в реакции  $^{249}\text{Bk} + ^{22}\text{Ne}$  при энергии ионов 118 МэВ.

На рис.6 и 7 представлены результаты измерения пробегов ядер отдачи, вылетающих в направлении пучка:  $^{256}\text{Md}$  и  $^{252}\text{Fm}$ , образующихся в реакции  $^{249}\text{Bk} + ^{22}\text{Ne}$ , и  $^{246}\text{Cf}$ ,  $^{242}\text{Cm}$  и  $^{240}\text{Cm}$ , получаемых в реакции  $^{239}\text{Pu} + ^{22}\text{Ne}$ . В приведенном распределении для  $^{256}\text{Md}$  указаны только статистические ошибки измерения, а для распределений  $\alpha$ -активных продуктов ошибки не указаны. В последнем случае погрешности измерений определялись систематической ошибкой, связанной с геометрией счета. Величина такой ошибки не превышала 15%. На этих же рисунках показаны расчетные распределения про-

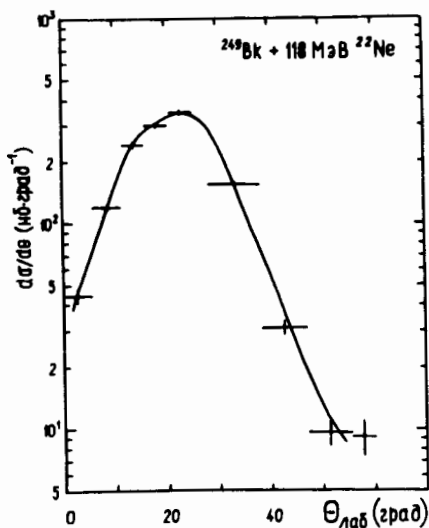


Рис. 5. Угловое распределение ядер отдачи  $^{256}\text{Md}$ .

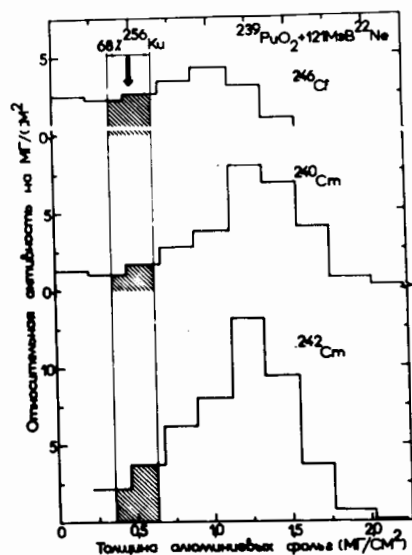


Рис. 7. Распределение пробегов ядер отдачи  $^{246}\text{Cf}$ ,  $^{240}\text{Cm}$  и  $^{242}\text{Cm}$ , образующихся в реакции  $^{239}\text{Pu} + ^{22}\text{Ne}$  при энергии ионов 121 МэВ.

бегов для продуктов реакций полного слияния - атомов 104 и 107 элементов, полученные описанным выше способом. Средняя величина пробега указана стрелкой, слева и справа от которой штриховкой отмечена область, равная двум среднеквадратичным отклонениям /68% всей площади распределения/.

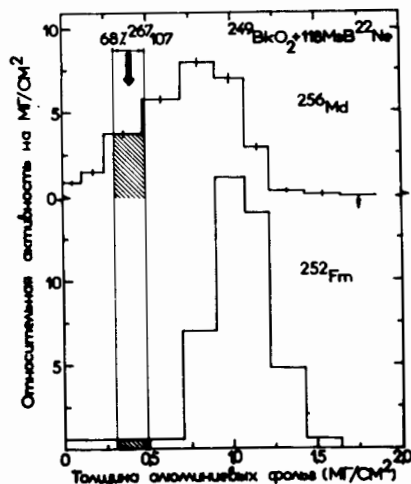


Рис. 6. Распределение пробегов ядер отдачи  $^{256}\text{Md}$  и  $^{252}\text{Fm}$ , образующихся в реакции  $^{249}\text{Bk} + ^{22}\text{Ne}$  при энергии ионов 118 МэВ.

#### 4. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ И ВЫВОДЫ

Приведенные результаты показывают, что пробеги атомов отдачи продуктов реакций многонуклонных передач в направлении пучка при энергиях налетающих ионов, соответствующих максимумам функций возбуждения реакций ( $^{22}\text{Ne}, 4-5\text{п}$ ), более чем в 2 раза превышают пробеги продуктов реакции полного слияния. Это обстоятельство может быть использовано для разделения продуктов реакций полного слияния и многонуклонных передач в экспериментах. Полученные результаты позволяют сделать количественные оценки степени разделения этих продуктов  $\eta$ , в качестве которой выбрано отношение полного числа зарегистрированных в эксперименте ядер - продуктов реакций многонуклонных передач к количеству этих ядер, остановившихся в области торможения продуктов реакции полного слияния. На рис. 3, 6 и 7 отмечены области, в которых тормозится 68% этих продуктов. Величины  $\eta$  приведены в табл. 2. Данные этой таблицы дают представление о факторе подавления фона от продуктов реакций многонуклонных передач, который может быть достигнут при использовании сборников ядер отдачи соответствующей толщины и коллимации ядер отдачи в экспериментах по синтезу трансфермиевых нуклидов. Следует заметить, что аналогичные величины для продуктов реакции  $^{239}\text{Pu} + ^{22}\text{Ne}$ , полученные в эксперименте без коллимации ядер отдачи, не превышали 2-3.

Таблица 2

Реакция взаимодействия	$^{249}\text{Bk} + ^{22}\text{Ne}$		$^{239}\text{Pu} + ^{22}\text{Ne}$		
	$^{256}\text{Md}$	$^{252}\text{Fm}$	$^{246}\text{Cf}$	$^{242}\text{Cm}$	$^{240}\text{Cm}$
$\eta$	$7,7 \pm 0,8$	$2,5 \pm 0,3 / 10^3$	$7,8 \pm 1,0$	$11,8 \pm 1,5$	$16,3 \pm 2,1$

Таким образом, использование относительно неглубокой коллимации, а также выбор условий торможения ядер отдачи /предварительное торможение и соответствующая толщина тормозящего слоя/ позволяют эффективно разделить продукты реакций полного слияния и многонуклонных передач. Особенно сильно разделение продуктов должно проявиться при использовании в качестве тормозящих сред легких газов, таких как водород и гелий. В этом случае вклад в стрегглинг, обусловленный процессом торможения тяжелого атома в веществе, который является основным в случае использования тонких мишеней, будет существенно меньше /13/.

Измерения пробегов и угловых распределений ядер отдачи могут оказаться полезными при идентификации нуклидов трансфермиевой

области, поскольку позволяют провести кинематический отбор наиболее вероятных каналов реакции, приводящих к образованию наблюдаемого нуклида<sup>14/</sup>.

В заключение авторы считают своим приятным долгом выразить признательность академику Г.Н.Флерову и профессору Ю.Ц.Оганесяну за постановку задачи и внимание к работе. Мы благодарны также С.П.Третьяковой за обеспечение обработки трековых детекторов и Г.В.Букланову за изготовление мишеней.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Букланов Г.В. и др. ОИЯИ, Р7-83-91, Дубна, 1983.
2. Сагайдак Р.Н. и др. ОИЯИ, Р7-82-890, Дубна, 1982.
3. Lee D. et al. Phys.Rev., 1982, C25, p.286.
4. Оганесян Ю.Ц. и др. АЭ, 1970, 28, с.393.
5. Флеров Г.Н. и др. ОИЯИ, Р7-4932, Дубна, 1970.
6. Gardes D. et al. Phys.Rev., 1980, C21, p.2447.
7. Демин А.Г. и др. ОИЯИ, Д7-80-556, Дубна, 1980, с.74.
8. Hubert F. et al. Ann. de Phys., 1980, 5S.
9. Williamson F. et al. CEA, Sasley, 1966, No.3042.
10. Ильинов А.С., Черепанов Е.А. ИЯИ, П-0090, М., 1978.
11. Northcliffe L.C., Schilling R.F. Nucl.Data Tabl., 1970, A7, p.223.
12. Hahn R.L. et al. Phys.Rev., 1974, C10, p.1889.
13. Winsberg L., Alexander J.M. Phys.Rev., 1961, 121, p.518.
14. Демин А.Г. и др. ОИЯИ, Д7-82-891, Дубна, 1982, с.52.

Рукопись поступила в издательский отдел  
21 сентября 1983 года.

Демин А.Г. и др.

Р7-83-667

Измерение пробегов ядер отдачи тяжелых актиноидов, образующихся в реакциях многонуклонных передач, вызываемых ионами  $^{22}\text{Ne}$

Измерены пробеги в алюминии ядер отдачи  $^{256}\text{Md}$  и  $^{252}\text{Fm}$ , образующихся в реакции  $^{249}\text{Bk} + ^{22}\text{Ne}$  / $E = 118$  МэВ/, а также  $^{246}\text{Cf}$ ,  $^{243}\text{Cm}$  и  $^{240}\text{Cm}$ , получаемых в реакции  $^{239}\text{Pu} + ^{22}\text{Ne}$  / $E = 121$  МэВ/. Показано, что пробеги в направлении пучка указанных выше продуктов, образующихся в реакциях многонуклонных передач, более чем в 2 раза превосходят аналогичные для продуктов реакции полного слияния. Это позволяет эффективно разделить продукты, получаемые в различных выходных каналах реакции. При этом степень разделения составляет от нескольких единиц до  $10^3$ . Представляется возможным использование этого обстоятельства в экспериментах по синтезу и идентификации трансфермиевых элементов в реакциях полного слияния налетающего иона и ядра мишени.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ.

препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1983

Demin A.G. et al.

Р7-83-667

Measurement of Recoil Range of Heavy Actinides Produced in Multinucleon Transfer Reactions Induced by  $^{22}\text{Ne}$

The recoil ranges of  $^{256}\text{Md}$  and  $^{252}\text{Fm}$  produced by the  $^{249}\text{Bk} + ^{22}\text{Ne}$  /118 MeV/ reaction and of  $^{246}\text{Cf}$ ,  $^{243}\text{Cm}$  and  $^{240}\text{Cm}$  produced by the  $^{239}\text{Pu} + ^{22}\text{Ne}$  /121 MeV/ reaction have been measured. It is shown that the recoil ranges of these multinucleon transfer reaction products in the direction of the beam exceed those of complete fusion reaction products by a factor of 2. It enables one to effectively separate the products of different exit channels, the separation factor being from several units to  $10^3$ . This fact may be used in experiments to synthesize and identify transactinoid elements in complete fusion reactions.

The investigation has been performed at the Laboratory of Nuclear Reactions, JINR.

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1983

Перевод О.С.Виноградовой